

534,884

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN  
EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad  
Intelectual  
Oficina internacional



(43) Fecha de publicación internacional  
27 de Mayo de 2004 (27.05.2004)

PCT

(10) Número de Publicación Internacional  
WO 2004/044538 A1

(51) Clasificación Internacional de Patentes: G01J 3/44

(21) Número de la solicitud internacional:  
PCT/ES2003/000392

(22) Fecha de presentación internacional:  
25 de Julio de 2003 (25.07.2003)

(25) Idioma de presentación: español

(26) Idioma de publicación: español

(30) Datos relativos a la prioridad:  
P200202617  
14 de Noviembre de 2002 (14.11.2002) ES

(71) Solicitante (para todos los Estados designados salvo US):  
FIBERCOM S.L. [ES/ES]; C/ PRADO 5, LOCAL, 50009  
ZARAGOZA (ES).

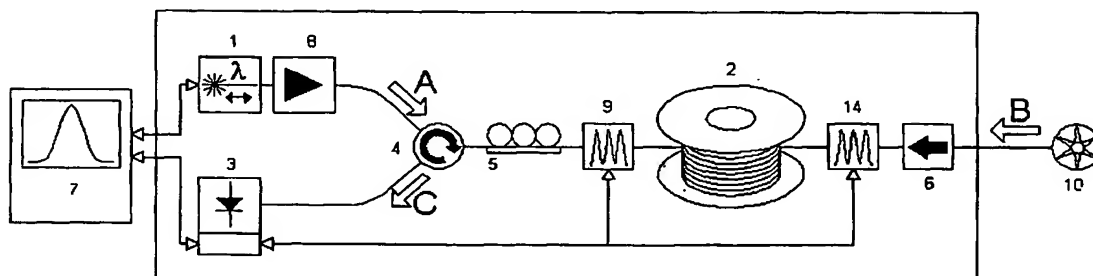
(72) Inventores; e

(75) Inventores/Solicitantes (para US solamente): LOPEZ  
TORRES, Francisco, M. [ES/ES]; Paseo Fernando el  
Católico 65, 50006 ZARAGOZA (ES). HERAS VILA,  
Carlos [ES/ES]; Plaza Herrera de los Navarros 3, 3º B,  
50006 ZARAGOZA (ES). BLASCO HERRANZ, Pilar  
[ES/ES]; C/ Tarragona 4, 3º A, 50006 ZARAGOZA (ES).  
GARCES GREGORIO, Juan, Ignacio [ES/ES]; C/  
Duquesa de Villahermosa 121, 7ºA, 50006 ZARAGOZA  
(ES). ALONSO ESTEBAN, Rafael [ES/ES]; Avda. Juan  
Pablo II nº 62, 8º B, 50006 ZARAGOZA (ES). VILLU-  
ENDAS YUSTE, Francisco [ES/ES]; C/ Duquesa de  
Villahermosa 119, esc 1, 2ºA, 50006 ZARAGOZA (ES).  
SUBIAS DOMINGO, Jesus [ES/ES]; C/ Tenor Fleta 57,  
esc izda, atico 2, 50008 ZARAGOZA (ES). PELAYO  
ZUECO, Francisco, Javier [ES/ES]; C/ Andrés Gurpide  
7, 3º D, 50006 ZARAGOZA (ES).

[Continúa en la página siguiente]

(54) Title: DEVICE FOR OPTICAL SPECTRA ANALYSIS BY MEANS OF BRILLOUIN SCATTERING AND ASSOCIATED  
MEASUREMENT METHOD

(54) Título: DISPOSITIVO ANALIZADOR DE ESPECTROS OPTICOS POR DIFUSION BRILLOUIN Y PROCEDIMIENTO  
DE MEDIDA ASOCIADO



(57) Abstract: The invention relates to a device which is used for the spectral analysis of optical signals and which is based on the stimulated Brillouin scattering effect. The invention also relates to the associated measurement method which makes use of the optical signal amplification caused by the Brillouin scattering effect. The Brillouin scattering effect enables the selective optical amplification of a determined component of the optical spectrum of the signal to be analysed, known as the problem signal, for the measurement thereof with a determined dynamic range, sensitivity and resolution. According to the invention, the problem signal is introduced into an optical fibre together with a narrowband optical signal, known as the probe signal, within a determined wavelength. Said probe signal propagates in the opposite direction to that of the problem signal, such that both signals interact inside the fibre owing to the Brillouin effect.

(57) Resumen: Dispositivo para el análisis espectral de señales ópticas basado en el efecto de Difusión Brillouin Estimulada y procedimiento de medida asociado que utiliza la amplificación óptica de las señales por el propio efecto de Difusión Brillouin. El efecto de Difusión Brillouin permite la amplificación óptica selectiva de una determinada componente del espectro óptico de la señal a analizar, que se denominará señal problema, para su medida con una resolución, sensibilidad y rango dinámicos determinados. La señal problema se introduce en una fibra óptica conjuntamente con una señal óptica de banda estrecha, que denominaremos señal sonda, centrada en una determinada longitud de onda, que se propaga en sentido contrario al de la señal problema interaccionando ambas señales, debido al efecto Brillouin, en el interior de la fibra.

WO 2004/044538 A1



(74) Mandatarios: ARIZTI ACHA, Monica etc.; GARRIGUES AGENCIA DE PROPIEDAD INDUSTRIAL E INTELLECTUAL, C/ JOSE ABASCAL 45, 28003 MADRID (ES).

(81) Estados designados (*nacional*): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Estados designados (*regional*): patente ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), patente euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), patente europea (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), patente OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publicada:**

— con informe de búsqueda internacional

Para códigos de dos letras y otras abreviaturas, véase la sección "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" que aparece al principio de cada número regular de la Gaceta del PCT.

DISPOSITIVO ANALIZADOR DE ESPECTROS ÓPTICOS POR DIFUSIÓN  
BRILLOUIN Y PROCEDIMIENTO DE MEDIDA ASOCIADO

CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención concierne a un dispositivo para el análisis espectral  
5 de señales ópticas basado en el efecto de Difusión Brillouin Estimulada y  
procedimiento de medida asociado que utiliza la amplificación óptica de las  
señales por el propio efecto de Difusión Brillouin. En este dispositivo, el efecto  
de Difusión Brillouin permite la amplificación óptica selectiva de una determinada  
componente del espectro óptico de la señal a analizar, que se denominará señal  
10 problema, para su medida con una resolución, sensibilidad y rango dinámicos  
determinados.

Para este fin, la señal problema se introduce en una fibra óptica  
conjuntamente con una señal óptica de banda estrecha, que denominaremos  
señal sonda, centrada en una determinada longitud de onda, que se propaga en  
15 sentido contrario al de la señal problema. Cuando ambas interaccionan, debido  
al efecto Brillouin, en el interior de la fibra se genera una señal de salida que  
viaja en sentido contrario a la señal sonda y cuya intensidad está determinada  
por el producto de las intensidades de las dos primeras señales, de modo que  
de dicha señal de salida es posible obtener una medida de una componente  
20 espectral de dicha señal problema, estando esta componente determinada por  
la longitud de onda central de dicha señal sonda.

ANTECEDENTES

La patente europea EP-1-199549-A1 describe un dispositivo que utiliza el  
efecto de Difusión Brillouin en una fibra óptica para la realización de medidas  
25 espectroscópicas y constituye el antecedente más reciente con un campo de  
invención próximo al que se describe en el presente documento.

La principal innovación que se incluye en la presente invención es el uso  
de la amplificación óptica por el efecto de Difusión Brillouin, combinado con la  
selectividad espectral que proporciona el propio efecto de Difusión Brillouin  
30 como consecuencia de la estrechez de la curva de ganancia Brillouin en una  
fibra óptica.

Para obtener el efecto de amplificación Brillouin, las señales problema y sonda se introducen en la fibra óptica en que tiene lugar el efecto por extremos opuestos y con sentidos de propagación contrarios, a diferencia de la configuración que se describe en la patente EP-1-199549-A1. Esta diferencia  
5 está asociada a unos principios de operación del dispositivo sustancialmente diferentes que permiten la obtención de un elevado nivel de amplificación óptica de la señal problema junto con la alta selectividad espectral del efecto Brillouin.

La resolución en la medida de espectros ópticos con el dispositivo descrito en la presente invención está determinada por la anchura espectral de  
10 la curva de ganancia Brillouin, y no se basa en ningún filtrado pasivo de la señal problema mediante sistemas con redes de difracción, interferómetros Fabry-Perot u otros sistemas análogos.

### EXPOSICIÓN DE LA INVENCION

Cuando, en determinadas condiciones, se propaga un haz de luz o señal  
15 óptica, con suficiente intensidad por un medio material, se produce una respuesta no lineal del medio que da lugar a la aparición del efecto conocido como Difusión Brillouin Espontánea. Por este efecto, una parte de la luz de la señal incidente es difundida en sentido opuesto al de la señal incidente, con un pequeño desplazamiento en la longitud de onda ( $\Delta\lambda_D$ ) del haz retrodifundido  
20 respecto al incidente. Este desplazamiento se debe al efecto Doppler.

Para que se produzca el efecto de Difusión Brillouin, al igual que para otros efectos de carácter no-lineal, se requiere muy alta densidad espacial de potencia óptica en el medio material, tal como la que se consigue con facilidad actualmente en fibras ópticas monomodo, en las que se pueden inyectar  
25 potencias hasta del orden de 1 W, de manera continua, en áreas del orden de 50-100  $\mu\text{m}^2$ .

Además y de forma específica, el efecto de Difusión Brillouin requiere un alto grado de coherencia espacial de la señal incidente. El grado de coherencia necesario para la generación de la Difusión Brillouin se puede obtener con  
30 facilidad empleando láseres tales como los de semiconductor con cavidad externa, usados habitualmente como fuentes sintonizables en equipos de caracterización de fibras ópticas.

Con un grado de coherencia suficiente en la fuente de luz, el fenómeno de Difusión Brillouin Espontáneo se produce en una fibra óptica monomodo cuando el nivel de potencia óptica supera un cierto nivel umbral del orden de unos pocos milliwatts de potencia en la fibra.

5 Cuando, además de la señal incidente (que denominamos señal sonda) se introduce en la misma fibra óptica una segunda señal, denominada señal problema, que se propaga en sentido opuesto al de la señal incidente, se produce el efecto denominado Difusión Brillouin Estimulada.

10 En estas circunstancias, un pequeño nivel de potencia en la segunda señal o señal problema, si tiene las características espectrales adecuadas, produce una fuerte reducción en el nivel umbral para que se produzca la Difusión Brillouin, de manera que la magnitud de esta difusión se intensifica en respuesta al estímulo proporcionado por la señal problema.

15 La magnitud de la potencia retrodifundida por efecto Brillouin estimulado está directamente determinada por la mucho más débil intensidad de la señal problema. Si la longitud de interacción entre la señal sonda y la señal problema es suficientemente amplia, el haz de luz o señal óptica resultante de la Difusión Brillouin puede ser de una intensidad comparable con la de la señal sonda, pero regida por la magnitud de la señal problema que la estimula. Se produce, por  
20 tanto, un efecto de Amplificación Óptica por Difusión Brillouin.

La Amplificación por Difusión Brillouin tiene un carácter selectivo en longitud de onda: se produce exclusivamente en un estrecho rango espectral (con una anchura aproximada de 0,05 nm en la zona del infrarrojo próximo,  $\lambda \sim 1,5 \mu\text{m}$ ) en torno a la longitud de onda determinada por la señal sonda, ligeramente desplazada por el efecto Doppler mencionado anteriormente (con  
25 un valor aproximado de 0,1 nm en fibras ópticas de sílice y en el citado infrarrojo próximo).

Modificando la longitud de onda de la señal sonda se amplifican selectivamente distintas componentes espectrales de la señal problema. Un  
30 barrido en longitudes de onda de la señal sonda actúa de sonda amplificadora sintonizable sobre el espectro de la señal problema.

El procedimiento de medida de espectros ópticos según la presente invención se basa en la Amplificación Óptica Selectiva por Difusión Brillouin de

un estrecho rango del espectro de la señal problema centrado en la longitud de onda fijada por la señal sonda (salvo el desplazamiento por efecto Doppler), de manera que un barrido en longitud de onda de la sonda permite obtener un amplio rango del espectro de la señal problema.

5 El dispositivo analizador de espectros ópticos por Difusión Brillouin y procedimiento de medida asociado objeto de la presente invención, consigue los objetivos planteados al incorporar una fuente óptica sintonizable de banda estrecha, un segmento de fibra óptica, un circulador óptico que permite el acceso a dicho segmento por uno de sus extremos, un segundo acceso óptico  
10 por el extremo opuesto de dicho segmento de fibra óptica, un sistema de detección y un sistema de control y adquisición de datos.

Dicho segmento de fibra óptica es susceptible de recibir a través de dicho circulador óptico una señal óptica sonda que a su vez procede de dicha fuente óptica sintonizable.

15 Por otro lado, dicho segmento de fibra es susceptible de recibir a través de dicho segundo acceso una señal óptica problema que se desea medir, procedente de una fuente externa.

Dicho segmento de fibra es el medio material adecuado para la interacción por efecto Brillouin entre la señal sonda y la señal problema,  
20 obteniéndose por dicho circulador óptico una señal óptica de salida, que entonces es conducida a dicho sistema de detección.

Una vez detectada y obtenida una señal eléctrica proporcional, ésta señal eléctrica es aplicada a dicho sistema de control y adquisición de datos para obtener una medida de la componente espectral de dicha señal problema  
25 correspondiente a la longitud de onda de dicha señal sonda.

Además, se obtiene el espectro de la señal problema mediante dicho sistema de control, que realiza un barrido en longitud de onda de la señal sonda y la composición de las medidas obtenidas en función de dicho barrido.

El dispositivo según la presente invención incorpora los siguientes  
30 componentes para mejorar sus características de funcionamiento:

i. un aislador óptico en el dicho segundo acceso de la fibra óptica para impedir la salida de cualquier señal óptica que pudiera influir sobre la fuente externa generadora de la señal problema; y

ii. un controlador de la polarización situado entre dicho circulador y dicho segmento de fibra para evitar la pérdida de eficiencia en la interacción por efecto Brillouin debida a la diferencia en los estados de polarización de las señales ópticas problema y sonda.

5 Además, el dispositivo de la presente invención puede incluir, de manera opcional, para alcanzar los límites últimos en cuanto a sus prestaciones, los siguientes elementos:

iii. un amplificador óptico situado a la salida de dicha fuente óptica sintonizable para aumentar la intensidad aplicada de la señal sonda y con ello  
10 mejorar la sensibilidad del dispositivo y el rango dinámico de medida; y

iv. uno o varios moduladores, de amplitud o polarización, que permiten la utilización de un sistema de detección síncrona en el proceso de medida, a fin de alcanzar el máximo grado de sensibilidad posible en la medida.

El procedimiento de medida espectroscópica de señales ópticas para la  
15 amplificación óptica selectiva de señales por Difusión Brillouin incluye los siguientes pasos:

i. introducción de una señal óptica sonda procedente de una fuente óptica o láser sintonizable por un extremo de un segmento de fibra óptica,

20 ii. introducción de una señal óptica problema a analizar, procedente de una fuente externa, y objeto de la medida, que atraviesa un aislador óptico previamente a su entrada por el extremo opuesto de la fibra óptica,

iii. optimización de la alineación de la polarización de la señal sonda con la de la señal problema, mediante un controlador de polarización situado entre el circulador óptico y la entrada de la señal sonda en el segmento de fibra óptica,

25 iv. interacción en el segmento de fibra óptica de la señal sonda y la señal problema que genera una señal de salida,

v. separación de la señal sonda y la señal de salida mediante un circulador óptico situado en el extremo de entrada de la señal sonda en el segmento de fibra óptica,

30 vi. detección de la señal de salida mediante un sistema de detección directa de luz, y

vii. análisis y toma de datos mediante un sistema de control conectado a la fuente óptica o láser sintonizable y al sistema de detección.

Opcionalmente, para alcanzar el máximo rendimiento en el procedimiento de medida, se pueden llevar a cabo los siguientes pasos finales:

viii. amplificación de la señal sonda mediante un amplificador óptico tras su salida de la fuente óptica o láser sintonizable y previamente a la entrada de la

5 señal sonda en el circulador óptico, y

ix. modulación, en amplitud o polarización, de la señal sonda o de la señal problema, o de ambas, de manera síncrona con el sistema de detección.

### DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La invención se comprenderá mejor a partir de la descripción detallada de  
10 unos ejemplos de realización de la misma con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

i. la Fig. 1 muestra esquemáticamente el circuito de interconexión con los elementos básicos comprendidos en el dispositivo de la presente invención,

15 ii. la Fig. 2 muestra esquemáticamente una alternativa al circuito de la Figura 1 con la inclusión de elementos opcionales como son el amplificador óptico 8 y los moduladores externos 9, y

iii. la Fig. 3 muestra una representación gráfica de los espectros ópticos de las señales que intervienen en el dispositivo en función del barrido en longitud de onda de la señal sonda.

### 20 DESCRIPCIÓN DE UNA FORMA PREFERENTE DE REALIZACION

Por lo descrito anteriormente y haciendo referencia a las figuras, la presente invención concierne a un dispositivo analizador de espectros 12  
25 ópticos basado en Amplificación por Difusión Brillouin y procedimiento de medida asociado que comprende una fuente óptica sintonizable 1 de banda estrecha, un segmento de fibra óptica 2, un circulador óptico 4, un controlador de polarización 5, un aislador óptico 6, un sistema de detección 3 y un sistema de control y toma de datos 7, como puede verse en la Fig. 1.

Respecto a la fuente 1 y la señal sonda A que ésta genera han de tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

30 i. La señal sonda A debe tener una densidad energética espectral suficiente para desencadenar el fenómeno de Difusión Brillouin en el medio material elegido (del orden de miliwatios de potencia en una fibra óptica).



ii. La señal sonda A debe tener una anchura espectral inferior a la del perfil espectral de la ganancia de Brillouin ( $g_B$ ), para que sea ésta última la que determine realmente la resolución de la técnica espectrométrica (del orden de 0,05 pm, para la zona del infrarrojo próximo:  $\lambda \sim 1,5 \mu\text{m}$ ).

5     iii. La fuente generadora 1 de la señal sonda A debe, en la práctica, permitir la variación de la longitud de onda central de la señal sonda, es decir, debe ser sintonizable. De este modo se puede trasladar la señal de salida por distintos puntos del espectro, lo que permite conocer el nivel de intensidad que la señal problema tiene en torno a distintas longitudes de onda.

10    iv. Las características de sintonizabilidad de la fuente 1 determinan directamente el rango espectral, precisión, reproducibilidad y características análogas correspondientes de la técnica de medida. Hoy en día, un láser semiconductor con cavidad externa sintonizable es capaz de proporcionar anchuras espectrales mucho menores que la resolución de la medida y permite  
15 rangos de sintonización del orden de 100 nm con alta precisión y repetitividad.

Respecto al medio material de interacción 2, fibra óptica, han de tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

i. La fibra óptica 2 a utilizar como medio material para la interacción por efecto Brillouin ha de ser de tipo monomodo en el rango de las longitudes de  
20 onda de medida, para preservar la coherencia espacial de los haces de luz, señales sonda y problema, en interacción.

ii. La eficiencia del efecto es inversamente proporcional (a igualdad de potencia óptica de los haces) al área efectiva de los haces de luz en interacción. Será mayor la eficiencia, por tanto, cuanto menor sea el área del núcleo de la  
25 fibra óptica. En concreto, para  $\lambda \sim 1,5 \mu\text{m}$ , es preferible el uso de fibra óptica de tipo "dispersión desplazada" o similar, ya que tiene un área efectiva casi la mitad de la de la fibra monomodo estándar.

iii. La longitud de fibra óptica 2 a utilizar es del orden de kilómetros para obtener el máximo rendimiento en el proceso de Amplificación Brillouin que se  
30 acumula a lo largo de la longitud de la fibra.

Respecto al circulador óptico 4 tiene por misión desacoplar los dos sentidos de propagación de la luz en el extremo de la fibra sin pérdida significativa de intensidad, lo que resulta imprescindible para poder introducir por

una parte la señal sonda A y por otra obtener la señal de salida C, con mayor eficacia que un acoplador de fibra óptica.

Respecto al controlador de la polarización 5 situado entre dicho circulador 4 y dicho segmento de fibra 2 permite evitar la pérdida de eficiencia en el efecto de Difusión Brillouin provocada por las distintas posibles polarizaciones de las señales ópticas en interacción.

Respecto al aislador óptico 6 se usa para impedir la salida de cualquier señal óptica que pudiera influir sobre la fuente de la señal problema 10.

Para realizar la medida mediante el dispositivo de análisis espectral por Difusión Brillouin, el segmento de fibra 2 recibe por uno de sus extremos, a través de dicho circulador 4, una señal óptica sonda A que a su vez procede de dicha fuente óptica sintonizable 1. Por el extremo contrario, recibe a través de dicho aislador 6, una señal óptica problema B que se desea medir procedente de una fuente externa 10.

Dicho segmento de fibra 2 es el medio material adecuado para la interacción por efecto Brillouin entre la señal sonda A y la señal problema B, obteniéndose por dicho circulador óptico 4, una señal óptica de salida C, que es conducida a dicho sistema de detección 3.

Se propone como sistema de detección 3 una cadena de detección directa de luz, sin requerimientos especiales en cuanto a respuesta dinámica ni sensibilidad. La detección de la señal óptica se puede hacer a baja frecuencia o "frecuencia cero"; no se precisa, por tanto, una cadena de detección con tiempos de respuesta especialmente rápidos.

Una vez detectada y obtenida una señal eléctrica proporcional a dicha señal de salida C, ésta señal eléctrica es aplicada a dicho sistema de control 7 para obtener una medida de la componente de la señal problema B en función de la longitud de onda de la señal sonda A.

Además, se obtiene el espectro 12 de la señal problema B mediante dicho sistema de control 7, que realiza un barrido 11 en longitud de onda de la señal sonda A y la composición gráfica de las medidas obtenidas en función de dicho barrido 11.

La simple utilización en un osciloscopio para la visualización de la señal eléctrica extraída del detector, en el que incide la señal de salida, sincronizada

con una señal eléctrica para gobernar el barrido 11 continuo de la longitud de onda de la señal sonda, permite obtener, en tiempo real, una representación del perfil espectroscópico de la señal problema B.

Según el procedimiento a realizar con el dispositivo de la presente invención, el espectro 12 de la señal problema B se obtiene mediante el barrido 11 en longitud de onda de la emisión del láser sintonizable. La señal de salida detectada C corresponde a la magnitud de la componente espectral de la señal problema B, amplificada (por efecto Brillouin Estimulado) con una ganancia que depende de la intensidad de la señal sonda A procedente de la fuente sintonizable. En concreto, en cada punto de la fibra en que tiene lugar la interacción, la contribución a la señal de salida reflejada está determinada por un producto  $g_B \cdot I_s(\lambda_s) \cdot I_p(\lambda_s - \Delta\lambda_D)$ , donde  $g_B$  es un coeficiente de ganancia Brillouin (característico de la fibra de interacción), e  $I_s(\lambda_s)$ ,  $I_p(\lambda)$  representan las intensidades de las señales sonda y problema respectivamente, como funciones de la longitud de onda,  $\lambda$ . La intensidad  $I_p(\lambda_s - \Delta\lambda_D)$  de la señal problema es la correspondiente a la longitud de onda de la sonda ( $\lambda_s$ ), salvo el desplazamiento por efecto Doppler (13) ( $\Delta\lambda_D$ ) anteriormente comentado (véase Fig. 3).

Además, el dispositivo de la presente invención puede incorporar una serie de elementos opcionales que permiten alcanzar las máximas prestaciones compatibles con los fundamentos del procedimiento de medida. Estos elementos opcionales son:

- i. un amplificador óptico 8 situado a la salida de dicha fuente óptica sintonizable 1 para aumentar la intensidad aplicada de la señal sonda A; y
- ii. un primer modulador 9, de amplitud o polarización, que trabaja de forma síncrona con el sistema de detección 3, situado entre el control de polarización 5 y el segmento de fibra 2. Como alternativa se puede incluir en lugar del primer modulador un segundo modulador 14, de amplitud o polarización, entre el aislador 6 y el segmento de fibra 2 que trabaja también de forma síncrona con el sistema de detección 3. También es posible emplear un primer modulador 9, entre el control de polarización 5 y el segmento de fibra 2, y un segundo modulador 14 entre el aislador 6 y el segmento de fibra 2. En el primer caso, y si se usa la modulación por polarización, ésta podría ser realizada por el controlador de polarización 5 en lugar de por el primer modulador 9.

Preferentemente se empleará un primer modulador 9 con modulación en polarización trabajando de forma síncrona y situado como se ha mencionado anteriormente entre el control de polarización 5 y el segmento de fibra óptica 2.

La utilización de un amplificador óptico 8 tiene por objeto conseguir elevados niveles en la señal de salida, partiendo de niveles de señal problema ( $I_p$ ) débiles, por medio de un incremento en el factor ( $I_s$ ) correspondiente a la intensidad de la señal sonda.

Por otra parte, para aumentar, en su caso, el rango dinámico de la cadena de detección, es posible modular o bien la señal sonda A, o bien la señal problema B, o bien ambas señales. Estas modulaciones pueden ser de amplitud o de polarización (evolución periódica del estado de polarización) por medio de un sistema específico (9, 14 en la figura 2). En todos los casos, la modulación se transfiere a la intensidad de la señal de salida detectada C, lo que permite una mejora del cociente señal-ruido mediante técnicas de detección síncrona. En el caso de la modulación de polarización, la dependencia que con la polarización tiene la eficacia de la Dispersión Brillouin proporciona el mecanismo de transferencia de la modulación a la señal de salida detectada C. Si se modula la señal problema B, es posible, por detección síncrona, discriminar la señal de la contribución de la Difusión Brillouin Espontánea. Si se modula la señal sonda A, es posible discriminar la señal de la potencia continua asociada a la luz directa transmitida con la señal problema B. Finalmente, si se modulan ambas señales A y B, es posible, detectando a una frecuencia suma (o diferencia) de las de modulación, discriminar la señal respecto a cualquier otra contribución de fondo presente en la señal detectada.

Finalmente, el dispositivo analizador de espectros ópticos basado en el efecto de Amplificación Óptica por Difusión Brillouin que se describe en la presente invención alcanza, en la medida, las siguientes prestaciones:

- i. una alta resolución espectral determinada exclusivamente por la anchura asociada al efecto Brillouin (del orden de 0,05 pm para la zona del infrarrojo próximo, es decir,  $\lambda \sim 1,5 \mu\text{m}$ );
- ii. una alta sensibilidad, de forma que la potencia mínima detectable es del orden de 1 nW/pm (para tiempos de respuesta en la cadena de detección del orden de 1 ms); y

iii. un amplio rango dinámico, superior a 80 dB, ajustando la sensibilidad del sistema por medio del nivel de ganancia total en la Amplificación por Difusión Brillouin.

El procedimiento de medida espectroscópica de señales ópticas para la  
5 amplificación óptica selectiva de señales por Difusión Brillouin según la presente invención, incluye las siguientes etapas:

i. la introducción de una señal óptica sonda A procedente de una fuente óptica o láser sintonizable 1 por un extremo de un segmento de fibra óptica 2,

10 ii. la introducción de una señal óptica problema B a analizar, procedente de una fuente externa 10, y objeto de la medida, que atraviesa un aislador óptico 6 previamente a su entrada por el extremo opuesto de la fibra óptica 2,

15 iii. optimización de la alineación de la polarización de la señal sonda A con la de la señal problema B, mediante un controlador de polarización 5 situado entre el circulador óptico 4 y la entrada de la señal sonda A en el segmento de fibra óptica 2,

iv. interacción en el segmento de fibra óptica 2 de la señal sonda A y la señal problema B que genera una señal de salida C,

20 v. separación de la señal sonda A y la señal de salida C mediante un circulador óptico 4 situado en el extremo de entrada de la señal sonda A en el segmento de fibra óptica 2,

vi. detección de la señal de salida C mediante un sistema de detección directa de luz 3, y

vii. análisis y toma de datos mediante un sistema de control 7 conectado a la fuente óptica o láser sintonizable 1 y al sistema de detección 3.

25 Además, se pueden llevar a cabo opcionalmente las siguientes fases:

viii. amplificación de la señal sonda mediante un amplificador óptico 8 tras su salida de la fuente óptica o láser sintonizable 1 y previamente a la entrada de la señal sonda A en el circulador óptico 4, y

30 ix. modulación, de la amplitud o la polarización, de la señal sonda A mediante un primer modulador 9 situado entre el control de polarización 5 y el segmento de fibra óptica 2 y que trabaja de forma síncrona con el sistema de detección 3.

Esta última etapa puede ser sustituida o complementada con una etapa de modulación, de la amplitud o la polarización, de la señal problema B mediante un segundo modulador 14 situado entre el aislador óptico 6 y el segmento de fibra óptica 2 y que trabaja de forma síncrona con el sistema de  
5 detección 3.

### REIVINDICACIONES

1.- Dispositivo para el análisis de espectros ópticos por Difusión Brillouin, que comprende una fuente óptica (1), un segmento de fibra óptica (2), un  
5 circulador óptico (4) de acceso a dicho segmento (2) por uno de sus extremos, un segundo acceso óptico (6), un sistema de detección (3) y un sistema de control (7), donde dicho segmento de fibra (2) es susceptible de recibir por dicho  
10 circulador óptico (4) una señal óptica sonda (A), procedente de dicha fuente óptica (1) y por dicho segundo acceso (6) una señal óptica problema (B), cuyo espectro (12) se desea medir, procedente de una fuente externa (10), aportando  
el segmento de fibra (2) un medio material adecuado para una interacción por efecto Brillouin entre las señales sonda (A) y problema (B), obteniéndose por  
dicho circulador óptico (4), una señal óptica de salida (C), que es conducida a  
dicho sistema de detección (3) y una señal eléctrica derivada de dicha detección  
15 es aplicada a dicho sistema de control (7) proporcionando una medida de la componente espectral de la señal problema (B) en función de la longitud de onda de la señal sonda (A) y obteniéndose el espectro (12) de la señal problema  
por dicho sistema de control (7), caracterizado porque la entrada de la señal problema (B) al segmento de fibra óptica se realiza a través del acceso óptico  
20 (6) y por el extremo opuesto al de entrada de la señal sonda (A), teniendo intercalado dicho acceso un aislador óptico (6) para impedir la salida de cualquier señal óptica que pudiera influir sobre la fuente externa (10) y porque  
dicho dispositivo comprende un controlador de la polarización (5) situado entre  
dicho circulador óptico (4) y dicho segmento de fibra (2) para evitar la pérdida de  
25 eficiencia provocada por las distintas polarizaciones de las señales ópticas sonda (A) y problema (B).

2.- Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado porque dicha fuente óptica es de tipo láser semiconductor con cavidad externa, sintonizable, de banda estrecha y de alta coherencia.

30 3.- Dispositivo según las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dicho dispositivo incorpora un amplificador óptico (8) situado a la salida de dicha fuente óptica sintonizable (1) para aumentar la intensidad aplicada de la señal sonda (A) y consiguientemente el nivel de sensibilidad de la medida.

4.- Dispositivo según las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dicho dispositivo incorpora al menos un modulador (9, 14) que trabaja de forma síncrona con el sistema de detección (3), de manera que dicho dispositivo de espectrometría alcanza una alta sensibilidad y un amplio rango dinámico en la medida.

5.- Dispositivo según la reivindicación 4, caracterizado porque incorpora un primer modulador (9) situado entre el control de polarización (5) y el segmento de fibra (2), de forma que la modulación se realiza sobre la señal sonda (A).

10 6.- Dispositivo según la reivindicación 4, caracterizado porque incorpora un segundo modulador (14) situado entre el segmento de fibra (2) y el aislador (6), de forma que la modulación se realiza sobre la señal problema (B).

7.- Dispositivo según la reivindicación 4, caracterizado porque incorpora un primer modulador (9) situado entre el control de polarización (5) y el segmento de fibra (2) y un segundo modulador (14) situado entre el segmento de fibra (2) y el aislador (6).

8.- Dispositivo según las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los moduladores (9, 14) pueden realizar una modulación de amplitud o de polarización.

20 9.- Dispositivo según las reivindicaciones 8, caracterizado porque el primer modulador realiza una modulación de polarización.

10.- Dispositivo según las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dicha resolución espectral está limitada por la anchura espectral del efecto Brillouin Estimulado.

25 11.- Dispositivo según la reivindicación 10, caracterizado porque dicha resolución espectral alcanza un valor mínimo del orden de 0,05 pm para la zona del infrarrojo próximo, es decir,  $\lambda \sim 1,5 \mu\text{m}$ .

30 12.- Dispositivo según las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dicha sensibilidad alcanza un valor del orden de 1 nW/pm para tiempos de respuesta en la cadena de detección del orden de 1 ms.

13.- Dispositivo según las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dicho rango dinámico alcanza un valor del orden de 80 dB, siendo



ajustada la sensibilidad del sistema por medio del nivel de ganancia total en la Amplificación por Difusión Brillouin.

14.- Dispositivo según las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la fibra óptica (2) es una fibra monomodo para el rango de las longitudes de onda de medida o trabajo.

15.- Dispositivo, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el controlador de polarización (5) puede ejercer las funciones de primer modulador (9) modulando la señal sonda (A).

16.- Dispositivo, según la reivindicación 1, caracterizado porque el sistema de detección es de baja frecuencia.

17.- Procedimiento de medida espectroscópica de señales ópticas para la amplificación óptica selectiva de señales por Difusión Brillouin que incluye:

a. la introducción de una señal óptica sonda (A) procedente de una fuente óptica sintonizable (1) por un extremo de un segmento de fibra óptica (2) tras atravesar un circulador óptico (4),

b. la introducción de una señal óptica problema (B) a analizar y objeto de la medida en el segmento de fibra óptica (2) procedente de una fuente externa (10),

c. la interacción de la señal sonda (A) y la señal problema (B) para generar una señal de salida (C),

d. la detección de la señal de salida (C) mediante un sistema de detección directa de luz (3), y

e. el análisis y la toma de datos mediante un sistema de control (7) conectado a la fuente óptica sintonizable (1) y al sistema de detección (3),

caracterizado porque para la interacción de la señal sonda (A) y la señal problema (B) se dan las siguientes etapas:

a. la introducción de la señal óptica problema (B), tras atravesar un aislador óptico (6), en la fibra óptica (2) por el extremo opuesto al de introducción de la señal sonda (A),

b. la optimización de la alineación de la polarización de la señal sonda (A) con la de la señal problema (B), mediante un controlador de polarización (5) situado entre el circulador óptico (4) y la entrada de la señal sonda (A) en el segmento de fibra óptica (2),

c. la interacción en el segmento de fibra óptica (2) de la señal sonda (A) y señal problema (B) que genera una señal de salida (C), y

d. la separación de la señal sonda (B) y señal de salida (C) mediante un circulador óptico (4) situado en el extremo de entrada de la señal sonda (A) en el  
5 segmento de fibra óptica (2).

18.- Procedimiento de medida, según la reivindicación 17, caracterizado porque comprende una etapa de amplificación de la señal sonda (A) mediante un amplificador óptico (8) tras su salida de la fuente óptica sintonizable (1) y previamente a la entrada de la señal sonda (A) en el circulador óptico (4).

10 19.- Procedimiento de medida, según las reivindicaciones 17 y 18, caracterizado porque comprende una etapa de modulación de la señal sonda (A) mediante un primer modulador (9) situado entre el control de polarización (5) y el segmento de fibra óptica (2) y que trabaja de forma síncrona con el sistema de detección (3).

15 20.- Procedimiento de medida, según las reivindicaciones 17 y 18, caracterizado porque comprende una etapa de modulación de la señal problema (B) mediante un segundo modulador (14) situado entre el aislador óptico (6) y el segmento de fibra óptica (2) y que trabaja de forma síncrona con el sistema de detección (3).

20 21.- Procedimiento de medida, según las reivindicaciones 17 y 18, caracterizado porque comprende una etapa de modulación de la señal sonda (A) mediante un primer modulador (9) situado entre el control de polarización (5) y el segmento de fibra óptica (2) y que trabaja de forma síncrona con el sistema de detección (3) y una etapa de modulación de la señal problema (B) mediante  
25 un segundo modulador (14) situado entre el aislador óptico (6) y el segmento de fibra óptica y que trabaja de forma síncrona con el sistema de detección (3).

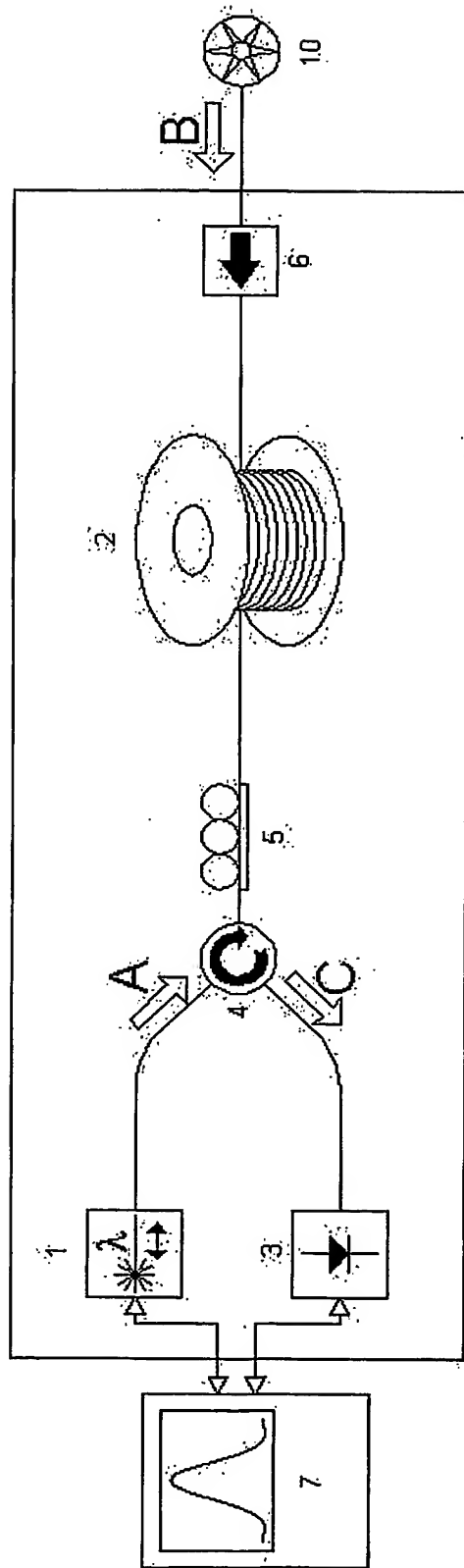


Figura 1

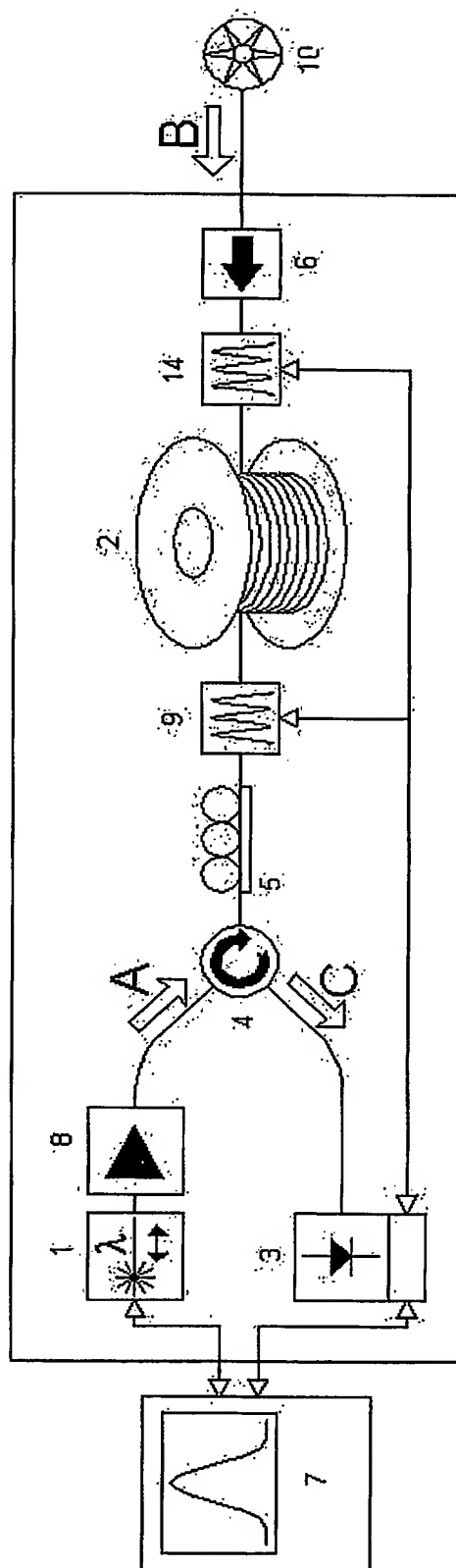


Figura 2

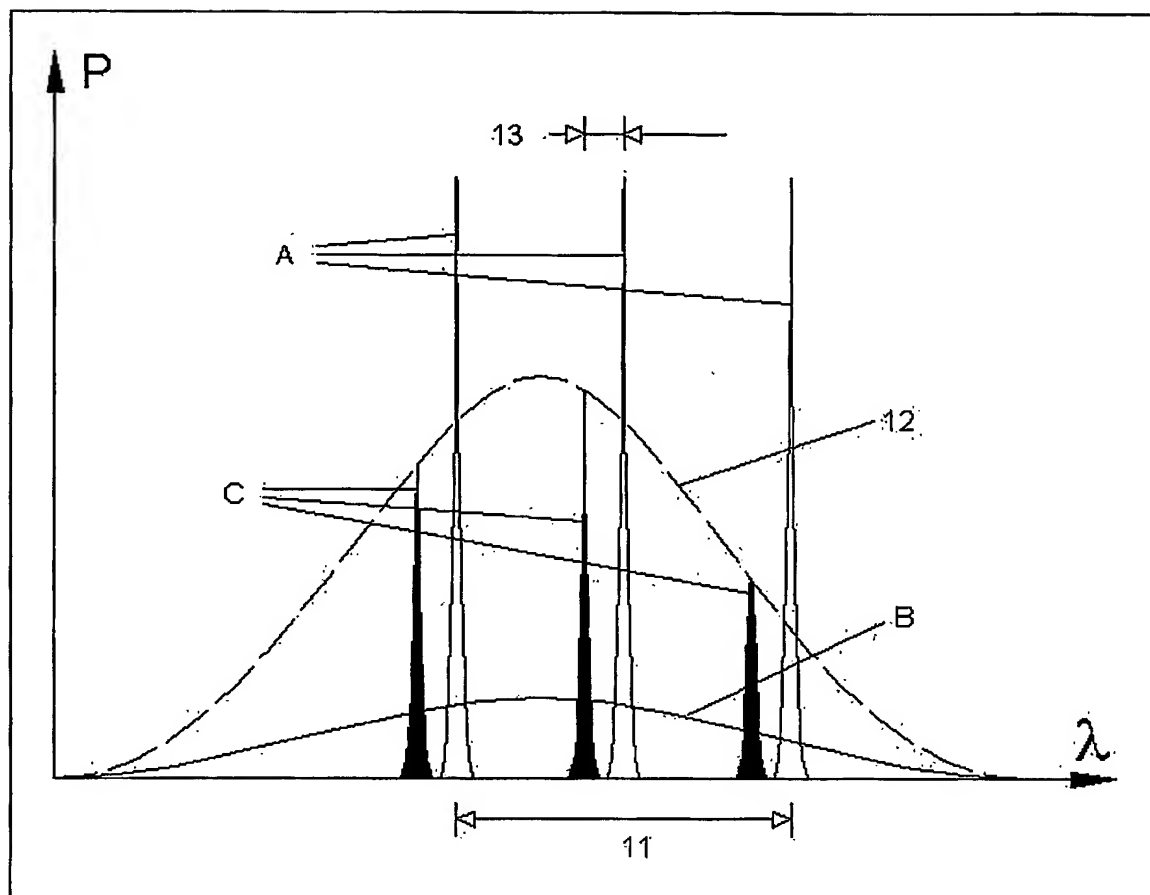


Figura 3

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/ ES 03 / 00392

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

**Int.Cl.7 G 01 J 3 / 44**

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

**Int.Cl.7 G 01 J**

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

**EPODOC, PAJ, WPIL, MISTRAL**

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5623336 A ( RAAB) 22 Abril 1997 (22.04.97) <b>the whole document april</b>	1,10,14 y 17
A	EP 1199549 A ( ACTERNA ENINGEN GmbH) 24 april 2002 ( 24.04.02) <b>the whole document</b>	1,2,10 y 17
A	Base de Datos PAJ en EPOQUENET JP 4122835 (TOSHIBA CORP) 23 . april 1992 (23.04.92) <b>abstract and figure</b>	1 - 3

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"I" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

**22 October 2003 (22.10.03)**

Date of mailing of the international search report

**28 October 2003 (28.10.03)**

Name and mailing address of the ISA/

**SPTO**

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International Application No

PCT/ES 03 / 00392

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5623336 A	1997-04-22	DE 4314189 C	1994-11-03
EP 1199549 A	2002-04-24	none	
JP 4122835 A	1992-04-23	none	

# INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº  
PCT/ ES 03 / 00392

## A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

CIP<sup>7</sup> G 01 J 3 / 44

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y la CIP.

## B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

Documentación mínima consultada (sistema de clasificación, seguido de los símbolos de clasificación)

CIP<sup>7</sup> G 01 J

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda internacional (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

EPODOC, PAJ, WPIL, MISTRAL

## C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones nº
A	US 5623336 A ( RAAB) 22 Abril 1997 (22.04.97) Todo el Documento	1,10,14 y 17
A	EP 1199549 A ( ACTERNA ENINGEN GmbH) 24 Abril 2002 ( 24.04.02) Todo el Documento	1,2,10 y 17
A	Base de Datos PAJ en EPOQUENET JP 4122835 (TOSHIBA CORP) 23 Abril 1992 (23.04.92) Resumen y figura	1 - 3

☐ En la continuación del recuadro C se relacionan otros documentos

☒ Los documentos de familia de patentes se indican en el anexo

\* Categorías especiales de documentos citados:

"A" documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.

"E" solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.

"L" documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).

"O" documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio.

"P" documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.

"T" documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención.

"X" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.

"Y" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia.

"&" documento que forma parte de la misma familia de patentes.

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda  
22 Octubre 2003

Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional

28 OCT 2003 28. 10. 03

Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional O.E.P.M.  
C/Panamá 1, 28071 Madrid, España.  
nº de fax +34 91 3495304

Funcionario autorizado

NAVARRO FARELL, A.

**INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL**  
Información relativa a miembros de familias de patentes

Solicitud internacional n°

PCT/ES 03 / 00392

Documento de patente citado en el informe de búsqueda	Fecha de publicación	Miembro(s) de la familia de patentes	Fecha de publicación
US 5623336 A	1997-04-22	DE 4314189 C	1994-11-03
EP 1199549 A	2002-04-24	NINGUNO	
JP 4122835 A	1992-04-23	NINGUNO	